

ПРО ТОЧНІСТЬ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ ЛІНІЙНИХ ПАРАМЕТРИЧНИХ КІЛ ЧАСТОТНИМ СИМВОЛЬНИМ МЕТОДОМ

**Шаповалов Ю. І., д.т.н., проф.; Мандзій Б. А., д.т.н., проф.;
Бачик Д. Р., к.т.н.**

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Оцінка стійкості є однією з найбільш складних задач аналізу та дослідження лінійних параметричних кіл (ЛПК), оскільки вона диктується і складністю математичного апарату, і громіздкістю самих математичних обчислень [1]. У [2], на наш погляд, подано найбільш простий та ефективний спосіб оцінки стійкості ЛПК, який оснований на визначенні коренів степеневого полінома знаменника нормальної передавальної функції інерційної частини таких кіл [2], а саме, їх дійсних частин: якщо дійсні частини усіх таких коренів від'ємні, то коло асимптотично стійке. Такий підхід оцінки стійкості реалізований у системі функцій *MAOPCs* [3] і показав свою ефективність при аналізі ряду параметричних пристроїв, що представляються у вигляді ЛПК.

Однак, як показала практика, адекватність оцінки стійкості через визначення коренів степеневих поліномів часто визначається адекватністю визначення самих коренів, оскільки методи їх визначення є виключно числові, і точність результату наперед невідома [4]. Перевірка визначених коренів підстановкою їх у відповідний поліном не завжди дієва, оскільки теж часто пов'язана з неточністю обчислень [4].

Метою даної роботи є дослідження точності оцінки стійкості ЛПК частотним символьним методом (ЧС-метод) та визначення шляхів її підвищення.

Зазначимо, що похибка результатів, отримуваних за ЧС-методом [2], визначається: а) кількістю перших k гармонічних складових, обраних до апроксимаційного виразу передавальної функції (за основною частотою Ω розкладу у ряд Фур'є, яка визначається як найбільший спільний дільник з основних частот періодичної зміни параметричних елементів кола [2]); б) кількістю r цифр (десяткових), якими представляються числа, що визначає точність виконання арифметичних дій. Таким чином, точність оцінки стійкості в нашому випадку визначається обраними значеннями k та r , зменшення яких може призвести до погіршення точності, надмірне збільшення — до неоправданих затрат комп'ютерного часу та пам'яті. Останнє достатньо критичне, оскільки аналіз реальних параметричних пристроїв з декількома параметричними елементами ЧС-методом проводиться на граничних можливостях символьного процесор сучасних версій *MATLAB* та з можливим виникненням некоректних ситуацій.

Так, на рис. 1,а показана карта значень коренів відповідних поліномів одноконтурного параметричного підсилювача [3] при кількості гармонічних складових k у них від 1 до 10 та для $r=13$. На рис. 1,б — те саме для $r=21$. Для висвітлення неточності розрахунків глибину модуляції $m=0,127$ параметричної ємності, що змінюється гармонічно, у підсилювачі обрано близькою до межі нестійкості ($m=0,128$). У картах накладено значення коренів поліномів при одній, 2-х, 3-х, ..., 10-и гармонічних складових у них. Поліноми є 6-го, 10-го, 14-го, ..., 42-го ступенів, відповідно [2], які визначаються за виразом $n \cdot (2k+1)$, де n — порядок диференціального рівняння, що описує дане коло. Ряд коренів, уточнюючись, на рисунках візуально незначно змінюють своє розташування, тому вони є накладені один на один, і на картах видно корені, що визначені останніми. З карт витікає наступне.

1. На більш детальних картах видно, що при зростанні кількості гармонічних складових k у відповідних поліномах корені уточнюються.

2. Дійсні частини усіх уточнених коренів прямують до двох значень: $-40189284,9952811$, $-137250,373892005$ при $n=13$ та $-40189285,006683$ $-137250,362447517$ при $n=21$.

3. «Нові» корені, тобто ті корені, яких не було при менших значеннях k , визначаються найбільш неточно (корені з дійсною частиною $-20122271,0488294$).

4. З рисунків витікає, що при ступенях поліномів від 6 до 30 корені визначаються достатньо точно. Тому останні корені накладаються на попередні і тільки їх видно (синій колір переважає).

5. З рис. 1,а витікає, що при k , які відповідають ступеням поліномів від 30 до 42, корені визначаються менш точно. Це означає, що похибка (б) починає переважати над похибкою (а), і потрібно збільшити r .

6. З рис. 1,б витікає, що при більшому r розташування дійсних частин коренів поліномів вищих ступенів залишається таким же, як і для поліномів нижчих ступенів. Це може говорити про достатність значення r у таких обчисленнях.

7. Усі корені з рис.1,б розташовані у лівій півплощині (при більшому масштабі це видно добре). Деякі корені з рис.1,а розташовані у правій півплощині. Оскільки коло завідомо стійке, то такі недостатні значення r можуть приводити до хибної оцінки стійкості кола.

8. Приймавши, що *MATLAB* визначає корені поліномів до 30 ступеня достатньо точно, отримуємо практичну залежність для вибору значення r : якщо $n \cdot (2k+1) \leq 30$, то $r=13$, якщо $n \cdot (2k+1) > 30$, то $r=21$.

Ряд інших проведених у роботі обчислювальних експериментів з одноконтурним та двоконтурним параметричними підсилювачами говорять про високу ефективність оцінки стійкості лінійних параметричних кіл ЧС-

методом та переконують у тому, що цей метод на сьогоднішній день є одним з кращих відомих методів такої оцінки.

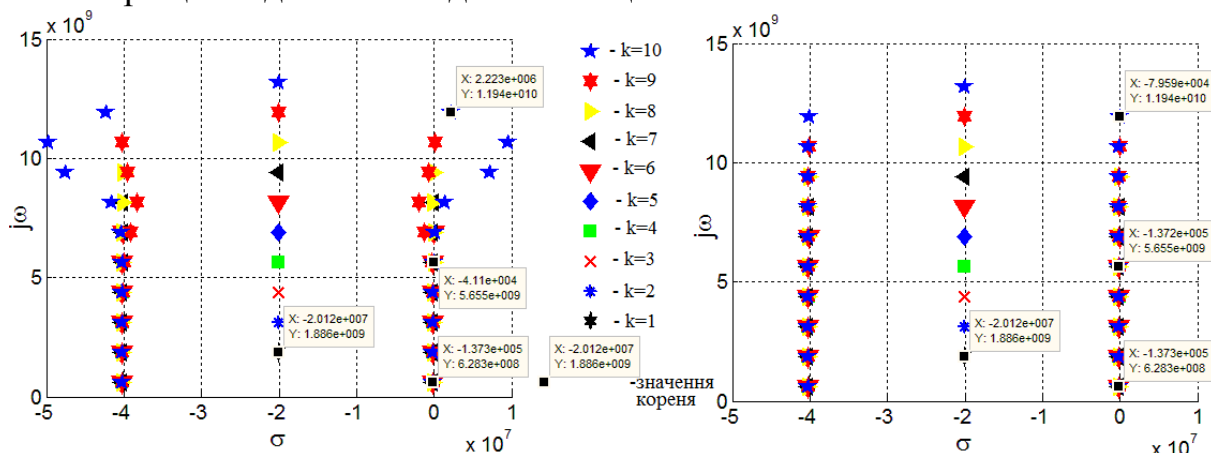


Рисунок 1,а. Карта коренів при $r = 13$

Рисунок 1,б. Карта коренів при $r = 21$

Перелік посилань

1. Бирюк Н. Д. Основы теории параметрических радиоперехватов: монография / Н. Д. Бирюк, В. В. Юргелас. — Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2012. — 346 с.
2. Шаповалов Ю. І. Символьний аналіз лінійних електричних кіл у частотній області. Постійні та змінні параметри. Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2014. — 324 с.
3. Шаповалов Ю. І. Система MAOPCs для багатоваріантного аналізу та оптимізації лінійних параметричних кіл у середовищі MATLAB / Ю. І.Шаповалов, Д. Р.Бачик, С. В. Маньковський // Вісн. НУ «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації — 2013. — №766. — С. 28—34.
4. Вычисления и приближение данных в MATLAB/ Поиск всех корней полиномов. [Електронний ресурс]. URL: — <http://matlab.exponenta.ru/spline/book1/16.php>

Анотація

Робота присвячена питанням точності оцінки асимптотичної стійкості лінійних параметричних кіл частотним символьним методом. Наведено результати ряду комп'ютерних обчислювальних експериментів, що виконані за допомогою системи функцій MAOPCs у середовищі MATLAB.

Ключові слова: лінійні параметричні кола, стійкість.

Анотация

Работа посвящена вопросам точности оценки асимптотической устойчивости линейных параметрических цепей частотным символьным методом. Приведены результаты ряда компьютерных вычислительных экспериментов, что выполнены с помощью системы функций MAOPCs в среде MATLAB.

Ключевые слова: линейные параметрические цепи, устойчивость.

Abstract

In this paper we considered the question of accuracy assessment of asymptotic stability of linear parametric circuits by the frequency symbolic method. There presented the results a number of computer computing experiments that were made using by the system of functions MAOPCs in an environment MATLAB.

Keywords: linear periodically time-variable circuits, stability.